تصدیق امضای پویا و احراز هویت مبتنی بر استخراج نقاط غالب پایدار و تقطیع الگوهای امضا

سعید رشیدی[۱] علی فلاح[۲] فرزاد توحیدخواه[۳]

۱- مربی- دانشکده مهندسی پزشکی- واحد علوم و تحقیقات- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران
rashidi.saeid@gmail.com
۲- استادیار- دانشکده مهندسی پزشکی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران
afallah@aut.ac.ir
۳- دانشیار- دانشکده مهندسی پزشکی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران
towhidkhah@aut.ac.ir

چکیده: **تغییرپذیری و تفاوتهای ظاهری حتی در امضاهای متعدد یک فرد حقیقی یکی از مسائل اساسی در فرآیند تصدیق امضا است. تجزیه امضا به مولفه‌های پایه این امکان را می‌دهد که علاوه بر دسترسی به ویژگیهای پایدارتر، تفاوتهای پنهان الگوهای حقیقی و جعلی برجسته‌تر گردد. در این مقاله الگوهای دو بعدی امضا با بهره‌گیری از ویژگی انحنا و نقاط غالب پایدار تقطیع می‌شود. تقطیع امضا علاوه بر کاهش حجم محاسبات در فرآیند مقایسه ویژگیهای سیگنالی، خطای دسته‌بندی الگوهای حقیقی و جعلی را نیز کاهش می‌دهد. با استخراج ضربه‌های نوشتاری و نگاشت یک به یک قطعات حاصل در الگوهای مرجع و آزمون بر پایه الگوریتم زیر دنباله‌های بهینه، ویژگیهای پارامتری و سیگنالی در هر قطعه تعریف می‌شود. با اعمال راهکار پیشنهادی به پایگاه دادگان گسترده با افراد دارای زبان فارسی، چینی، انگلیسی و ترکی و استفاده از دسته‌بندهای خطی، پنجره پارزن و ماشین بردار پشتیبان مقدار خطای EER برابر ۱/۷۵٪ و ۲/۱۲٪ به ترتیب در گروه جاعل تصادفی و ماهر بدست آمد.**

کلمات کلیدی: **پیچش زمانی پویا، تصدیق امضای پویا، تقطیع، زیر دنباله‌های بهینه، نقاط غالب.**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۹/۷/۴
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۰/۱۲/۲۷
نام نویسنده‌ی مسئول : مهندس سعید رشیدی
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران- تهران- میدان پونک- بلوار سردار جنگل- کوچه گلزار ب- دانشکده مهندسی پزشکی- واحد علوم و تحقیقات – دانشگاه آزاد اسلامی

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۱- مقدمه

امروزه در عرصه تایید و شناسائی هویت افراد بهره‌گیری از ویژگیهای فردی نظیر اثر انگشت، هندسه پنجه دست، تصویر عنبیه و امضا بدلیل خصوصیات یکتا به سرعت در حال گسترش است. استفاده از راهکار زیست‌سنجی برای تایید هویت افراد از سطح ایمنی بالائی برخوردار است. سامانه‌های زیست‌سنجی با استخراج بردار ویژگیها از مشخصه‌های فیزیولوژیکی و رفتاری هویت فرد را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. این مشخصه‌ها باید یکتا، پایدار، قابل پذیرش، کمیت‌پذیر و با هزینه متعارف باشد.

روشهای فیزیولوژیکی با استفاده از ویژگیهای فیزیکی فرد مانند چهره، اثر انگشت، اثر کف دست، گوش، عنبیه، شبکیه، هندسه انگشتان و DNA و روشهای رفتاری بر پایه کنشهای فرد نظیر گفتار و نوشتن، هویت را بررسی می‌کنند. ویژگیهای فیزیکی با گذشت ایام تقریباً ثابت بوده در حالی که ویژگیهای رفتاری تحت تاثیر عواملی چون سن، سلامتی و حالات روانی دچار تغییر می‌شوند. روش فیزیولوژیکی می‌تواند با یک نمونه نیز بازنمائی شود اما مشخصه رفتاری با چند نمونه حقیقی ارزیابی می‌شود.

سامانه‌های تصدیق امضا بر حسب ماهیت دادگان دریافتی به دو گروه پویا و ایستا تقسیم می‌شوند. در سامانه‌های ایستا تصویر امضای فرد مبنای فرآیند تایید هویت است، حال آنکه در روش پویا با استفاده از ابزارهای صفحه ترسیم و قلمهای نوری اطلاعات زمانی الگوی امضا در حین ترسیم پردازش می‌شود[۱].

روشهای پویا به دو گروه ویژگیهای سیگنالی یا ساختاری یا محلی و پارامتری یا کلی دسته‌بندی می‌گردند [۲]. در روش پارامتری ویژگیهای کلی حاصل از اعمال توابع آماری به الگوی امضا مانند بیشینه سرعت، واریانس شتاب و متوسط تغییرات فشار استخراج می‌شود [۳، ۴]. در روشهای سیگنالی امضای هر فرد به صورت یک تابع زمانی مانند موقعیت، سرعت، فشار و نیرو ثبت شده و آنگاه این توابع به دو شکل نقطه به نقطه یا قطعه به قطعه در امضاهای مرجع و آزمون مقایسه می‌شوند [۵، ۶]. برای مقایسه دو روش باید توجه داشت هر چند روشهای پارامتری سریع هستند اما میزان خطای آنها نیز بیشتر است.

در روشهای سیگنالی یک مسئله اساسی وجود دارد که عبارت از یکسان نبودن تعداد نقاط و یا تعداد قطعات ویژگیهای سیگنالی در الگوهای مرجع و آزمون است به نحوی که حتی برای یک فرد حقیقی و در تکرارهای مختلف مشهود است. بنابر این بهره‌گیری از الگوریتمهای تطابق دو سیگنال مانند همبستگی ناحیه‌ای[۱] و پیچش زمانی پویا[۲] (DTW) پیشنهاد می‌گردد [۷ ، ۸]. کارائی چنین روشهایی به دو عامل اول چگونگی آشکارسازی نقاط انقطاع که از پایداری مناسبی نیز برخوردار باشند و دوم الگوریتم تطابق نقاط یا قطعات مشابه بر یکدیگر بستگی دارد.

در این مقاله برای تقطیع الگوها از ایده نقاط غالب در منحنی‌های دو بعدی استفاده شده‌است. با تعیین نقاط با درجه انحنای بالا و پایدار ویژگیهای سیگنالی تقطیع شده و قطعات متناظر امضاهای آزمون و مرجع استخراج می‌شود. با تقطیع الگوی اولیه به قطعات کوچکتر و کاهش ابعاد سیگنالهای مورد مقایسه، زمان کاهش و سرعت دسته‌بندی الگوها افزایش می‌یابد.

۲- تحقیقات گذشته

سیستمهای تصدیق امضا در دو مسئله اساسی یعنی انتخاب ویژگی و فرآیند تصمیم‌گیری و مقایسه متفاوت هستند. هر چند تنوع ویژگیهای ساختاری محدود است و وابسته به فن‌آوری ابزار دریافت دادگان مربوط است ولی می‌توان صدها ویژگی پارامتری را تعریف نمود.

فرآیند مقایسه، اصالت امضای آزمون را در قیاس با دانش قبلی و امضای مرجع ارزیابی می‌کند. هر راهکار مقایسه بر پایه یک معیار سنجش استوار است. از جمله این راهکارها می‌توان به پیچش زمانی پویا [۹، ۱۰، ۱۱]، مدل مخفی مارکوف[۳] (HMM) [۱۲، ۱۳]، ماشین بردار پشتیبان[۴] (SVM) [۱۴] و شبکه عصبی [۱۷، ۱۸] اشاره نمود.

وقتی ویژگیهای پارامتری برای ارزیابی الگوهای امضا استفاده می‌شود اغلب معیار فاصله اقلیدسی برای سنجش شباهت الگوها بکار می‌رود در حالی که در روشهای مبتنی بر ویژگیهای ساختاری باید از روشهای مقایسه نقطه به نقطه استفاده نمود. الگوریتمهای انعطاف پذیر مانند پیچش زمانی پویا در این زمینه بسیار موثر عمل می‌کنند ولی زمان محاسبات با حاصل ضرب طول ویژگی در امضاهای مورد مقایسه متناسب است.

راهکارهای بر پایه مدل مخفی مارکوف نیز بسیار مورد توجه محققان است. آن یک فرآیند مقایسه اتفاقی بوده که دنباله‌ای از توزیع احتمالی ویژگیهای حاصل از امضاهای مرجع و آزمون را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. محدودیتهای عمده HMM حجم محاسبات بالا، حافظه بزرگ مورد نیاز و دسترسی به دادگان وسیع برای آموزش است.

راهکار ماشین بردار پشتیبان با استفاده از ابر صفحات با حداکثر فاصله از دسته‌های موجود به جداسازی آنها می‌پردازد. در این روش خطای از دست دادن دسته‌ها به حداقل می‌رسد. در [۱۷] مقایسه بین دو دسته‌بند SVM و HMM نشان می‌دهد که در شرایط مختلف و با دادگان مشابه در دوره آموزش، نتایج SVM بهتر از HMM است.

رویکردهای مختلف دیگری نیز در زمینه تصدیق امضا مطرح شده‌است. تجزیه و ترکیب الگوی امضا [۱۸]، سنجش شباهت در فضای اسپکتروم[۵] [۱۹]، ترکیب بردارهای چندی شده[۶] [۲۰] با الگوریتم پیچش زمانی پویا، مدلسازی سامانه کنترل حرکت [۲۱]، مدلهای قطب- صفر [۲۲] و بازنمائی سمبولیک الگوهای امضا [۲۳] از آن جمله است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1 Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۳- تصدیق امضا

فرآیند تصدیق امضا شامل مراحل دریافت دادگان، پیش پردازش، استخراج ویژگی، فرآیند مقایسه و تصمیم‌گیری است. شکل (۱) یک سامانه تصدیق امضا را نشان می‌دهد. در این پژوهش، پایگاه دادگان شامل چهار مجموعه است. بخش اول که در این تحقیق تهیه شده، الگوهای امضای ۵۰ نفر به عنوان افراد حقیقی (شامل ۱۳ زن) به کمک دیجیتایزر WACOM (Graphier 4) با دقت ۰/۲۵ mm ± و فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ HZ دریافت شده‌است. از هر فرد ۲۵ نمونه امضای مرجع و به ازای هر فرد حقیقی دو گروه جاعل مبتدی و ماهر تعریف گردید. ۲۰ نفر جاعل مبتدی و ۳۰ نفر جاعل ماهر که هر کدام به تعداد ۱۰ نمونه کلیه الگوهای مرجع را جعل می‌نمودند.

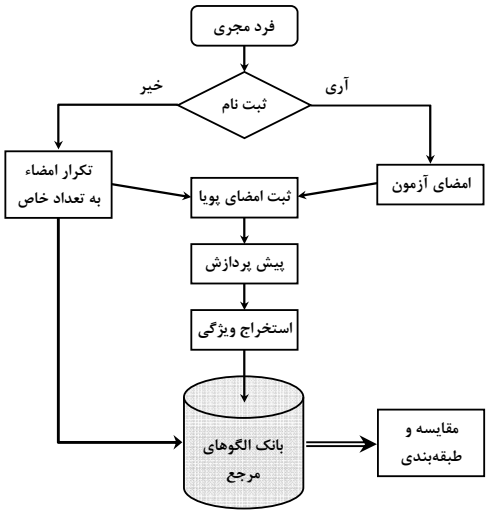
پایگاه دوم شامل افراد انگلیسی و چینی زبان می‌باشد که از سایت اولین مسابقه تصدیق امضا دریافت شده، شامل ۸۰ فرد حقیقی که هر کدام ۲۰ بار امضای خویش را تکرار کرده‌اند و برای هر الگو نیز ۲۰ نمونه جاعل ماهر وجود دارد [۲۴].

پایگاه سوم شامل ۱۱۰ فرد (۲۹ زن و ۸۱ مرد) است که در دانشگاه سابانسی[۷] ترکیه شاغل یا دانشجو بوده‌اند [۲۵]. هر فرد ۲۰ امضا ثبت نموده و تعداد ۱۰ نمونه امضای جعلی ماهرانه نیز دریافت شده‌است.

پایگاه چهارم از سایت مسابقه تصدیق امضا در سال ۲۰۰۹ دریافت شده‌است [۲۶]. تعداد ۱۲ فرد حقیقی با ۵ نمونه امضا و ۳۱ جاعل به ازای هر فرد حقیقی با ۵ نمونه جعلی در پایگاه ثبت شده‌است. در شکل ۲ برخی از نمونه امضاهای موجود در پایگاه دادگان مورد استفاده مشاهده می‌شود.

در مسئله تصدیق امضا سه نوع جاعل معرفی می‌شود. اول جاعل مبتدی[۸] کسی است که تنها بر مبنای تصویر الگو آن را تقلید و ترسیم می‌کند. دوم جاعل تصادفی[۹] که بدون توجه به امضای حقیقی، امضای خویش جایگزین آن می‌کند. سوم جاعل ماهر[۱۰] که علاوه بر تصویر امضا به اطلاعات دیگری مانند ترتیب مولفه‌های پایه، زمان و سرعت آن نیز دسترسی دارد که توسط مجری آزمون در اختیار او قرار می‌گیرد.تفاوت عمده دو گروه جاعلان مبتدی و تصادفی با ماهر در ویژگیهای پویا مانند سرعت، شتاب، فشار است که در جاعلان مبتدی و تصادفی به علت عدم آگاهی و فقر اطلاعات پویا الگوهای امضا است.

برای ارزیابی موثر و پایداری یک سامانه تصدیق امضا دو نوع خطا معرفی و بررسی می‌شود. خطای نوع اول بیانگر درصد امضاهای حقیقی که به اشتباه جعلی تشخیص داده شده‌اند[۱۱]، است. خطای نوع دوم نرخ پذیرش اشتباهی امضاهای جعلی[۱۲] را نشان می‌دهد. این دو خطا به اختصار FAR و FRR معرفی می‌شود. نقطه‌ای که دو خطای نوع اول و خطای نوع دوم با یکدیگر برابر می‌شوند را نرخ خطای برابر[۱۳] (EER) گویند و معمولاً به عنوان شاخص عملکرد سامانه تصدیق استفاده می‌شود.



شکل (۱): فرآیند تصدیق امضا.



شکل (۲): برخی از نمونه امضاهای پایگاه دادگان.

۴- پیش پردازش

پیش پردازش شامل فرآیندهای هموارسازی، مشتق‌گیری عددی، انتقال، حذف زاویه چرخش الگو، تقطیع و مقیاس نمودن سیگنالها است. استفاده از توابع اسپلاین مکعبی علاوه بر هموارسازی، مشتقات سیگنال را با استفاده از توابع تحلیلی بیان می‌کند [۲۷].

از آنجا که افراد در هنگام ترسیم الگوی امضا با زاویه‌های متفاوتی نسبت به محور xها قرار می‌گیرند برای حذف زاویه خط مبنا روشهای چندی مانند برازش خطی استفاده می‌شود. برازش خطی تلاش دارد رابطه‌ای خطی بر دادگان تصویر نماید.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

$$y = ax + b \qquad (۱)$$

مدلهای مختلفی به منظور یافتن a,b بر پایه روش حداقل مربعات خطا پیشنهاد شده‌است که در این تحقیق روش حداقل فاصله متعامد از نقاط (x_i, y_i) مد نظر است [۲۸].

$$E(a,b) = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - ax_i - b)^2}{a^2 + 1} \qquad (۲)$$

که مقادیر بهینه a,b عبارتند از:

$$a = \frac{S_y^2 - S_x^2 + \sqrt{(S_y^2 - S_x^2)^2 + 4cov^2(x,y)}}{2cov(x,y)}$$
$$b = \bar{y} - a\bar{x} \qquad (۳)$$

که S بیانگر انحراف معیار استاندارد و $\bar{y},\bar{x}$ میانگین مولفه‌های دادگان است. حال با استفاده از زاویه شیب رابطه (۲) الگوی ورودی را دوران می‌یابد.

$$a = tan(\beta)$$
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos(\beta) & -sin(\beta) \\ sin(\beta) & cos(\beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

شکل (۳) مثالی را در این باره نشان می‌دهد. دقت شود که در این روش زاویه ترسیم بر خلاف دیگر تخمینها به صفر اصلاح نمی‌شود.

تمام امضاهای یک فرد به نقطه میانگین در راستای افقی و عمودی انتقال می‌یابد بنابر این میانگین الگوها برابر صفر خواهد شد. برای تغییر مقیاس سیگنالها نیز داریم:

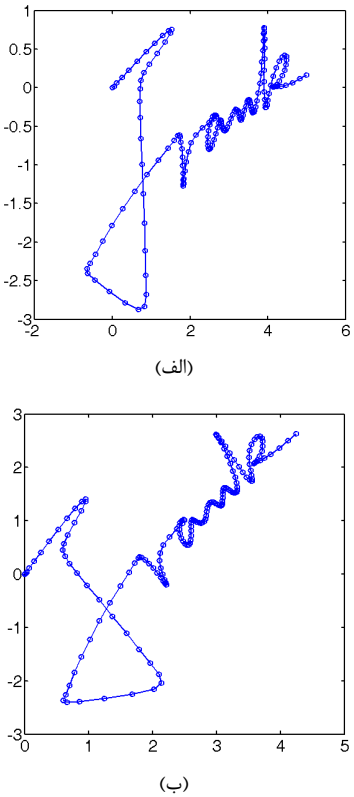
$$Signal_n = \frac{Signal - mean(Signal)}{std(Signal)} \qquad (۵)$$

۵- تقطیع و مقایسه الگوها

تقطیع در مسئله تصدیق امضا عبارت از تقسیم الگوی دو بعدی موقعیت یا سیگنالهای زمانی مانند موقعیت و سرعت به بخشهای کوچکتر است. تاکنون الگوریتمهای متعددی از روشهای ساده مبتنی بر تقطیع الگو به قطعات با طول انحنای یکسان تا روشهای پیچیده‌تر بر پایه مفاهیم نقاط غالب و گوشه گزارش شده است [۲۹، ۳۰، ۳۱]. البته قابلیت و اثر بخشی الگوریتمهای تقطیع با در نظر گرفتن روش تطابق آنها قابل بحث و بررسی است.

۵-۱- تقطیع الگوی امضا

در مسئله تقطیع به دو معیار سازگاری و سادگی باید توجه داشت. شرط اول بیانگر آن است که چنانچه دو الگوی امضای یک فرد حقیقی تقطیع گردد نتیجه و مجموعه حاصل باید مشابه یا با کمترین تغییر ممکن باشد. نقاط اساسی یا تکین نقاطی هستند که منحنی در راستای افقی یا عمودی تغییر جهت می‌دهد، بنابر این می‌توانند بیانگر گوشه‌های الگو یا نقاط غالب منحنی باشند که دارای استحکام و کمترین تغییر پذیری در ساختار الگو هستند. ضعف عمده این نقاط،



شکل (۳): برازش خطی و اصلاح خط مبنا. الف)- الگوی اولیه. ب)- پس از اصلاح زاویه ترسیم.

حساسیت به زاویه الگو یا چرخش آن است و به منظور حل این مشکل ژانگ[۱۴] استفاده از معیارهای مستقل از چرخش مانند انحنا و سرعت زاویه‌ای را مطرح کرده‌است [۲۹]. انحنای منحنی عبارت است از:

$$C(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{|\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}|}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}} \qquad (۶)$$

رابطه فوق بیانگر آن است که در گوشه‌ها و نقاطی که انحنای منحنی به بیشینه مقدار خود می‌رسد، سرعت مماسی در کمینه مقدار خود قرار دارد. این امر می‌تواند در تعیین نواحی از الگوهای جعلی که قابلیت تمایز بالاتری دارند، بسیار سودمند واقع شوند. در واقع در چنین نقاطی فرد جاعل برای تعقیب دقیقتر الگوی امضا به ناچار از سرعت اجرا می‌کاهد. از آنجا که انحنا و سرعت مماسی $V(t) = \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}$ رابطه‌ای معکوس دارند، جهت کاهش خطاهای ناشی از اعمال مشتقات مرتبه بالا می‌توان از تابع سرعت استفاده نمود. برای دستیابی به نقاط غالب حقیقی و مهمتر با استفاده از فیلتر مقیاس- فضا داریم:

$$V(t,\sigma) = V(t) * g(t,\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\tau) e^{-(t-\tau)/2\sigma^2} d\tau \qquad (۷)$$

که $V(t,\sigma)$ تابع سرعت در مقیاس σ است. با افزایش σ نقاط غالب بطور پیوسته جابجا شده به نحوی که در مقادیر بزرگتر با حذف نقاط زائد، نقاط آشکار شده با مفهوم واقعی نقاط گوشه تطابق بیشتری خواهد داشت. همچنین در مقادیر خیلی بزرگ σ علاوه بر حذف نقاط

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

غالب واقعی، جابجائی نیز رخ داده و مکان برخی نقاط پایدار در مراحل گذشته با نقطه‌ای غیر واقع تعویض شود. از آنجا که مکان نقاط غالب برای σهای کوچک بسیار دقیقتر از مقادیر بزرگ تعیین می‌شود و با افزایش σ تعداد نقاط بطور یکنوا کاهش می‌یابد [۳۲]، با الگوریتم ذیل مکان نقاط تصحیح می‌گردد:

۱- تعیین نقاط غالب با مقدار σ=۰/۱ که شامل N_1 نقطه است: $C1_1, C1_2, \cdots, C1_{N_1}$

۲- افزایش گام به گام مقدار σ به میزان ۰/۰۵ و تعیین نقاط غالب به تعداد N_2 و عبارتند از: $C2_1, C2_2, \cdots, C2_{N_2}$

۳- مقایسه مکان نقاط جدید با نقاط مرحله یک و جایگزینی نقطه‌ای از مرحله یک به نحوی که کمترین فاصله را با نقطه حاصل از مرحله دوم دارد.

برای تصمیم‌گیری درباره زمان خاتمه الگوریتم از روش ساده‌ای بر پایه تعداد نقاط غالب استفاده شده‌است. در این روش اگر در محدوده $\Delta\sigma$ تغییری در تعداد نقاط مشاهده نشود، الگوریتم خاتمه می‌یابد. درباره الگوهای امضاء و بر مبنای شبیه‌سازیها محدوده $۰/۵ \le \Delta\sigma \le ۰/۷۵$ مناسب می‌باشد. شکل (۴) چگونگی آشکارسازی نقاط غالب پایدار را به ازای مقادیر مختلف σ نشان می‌دهد.

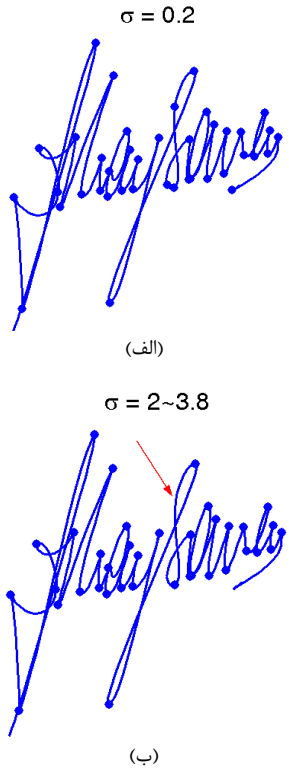
۵-۲- الگوریتم تطابق نقاط

مقایسه و تعیین میزان شباهت سیگنالهای با طول متفاوت نیاز به الگوریتمهائی دارد که قادر به اصلاح محور زمان جهت یکسان‌سازی طول دو سیگنال باشد. الگوریتم پیچش زمانی پویا DTW شاخص‌ترین روش پیشنهادی است [۳۳]. DTW بر مبنای فاصله اقلیدسی و با استفاده از راهکار برنامه‌ریزی پویا نقاط متناظر با کمترین فاصله را می‌یابد. این الگوریتم یک نگاشت یک به چند و چند به یک است و همین مسئله گاهی باعث خطا در برقراری تناظر می‌شود.

الگوریتم جدید زیر دنباله‌های بهینه پوشا[۱۵] (OSB) با استفاده از فاصله اقلیدسی نقاط محدود به پنجره تعریف شده و با وزندهی به آنها پنجره سعی در یافتن نقاط متناظر دارد [۳۴]. این الگوریتم بر خلاف DTW نگاشت یک به یک نقاط را تضمین می‌کند و اجازه پرش با گام محدود را در برقراری ماتریس تناظر می‌دهد. OSB اجازه می‌دهد که بتوان در دو سری یا بردار با طولهای نا برابر، سری کوچکتر را بر بخشی از دیگری متناظر ساخت. اگر دو سری با طول محدود داشته باشیم:

$$\begin{aligned} a &= a_1, a_2, \ldots, a_m \qquad n < m \\ b &= b_1, b_2, \ldots, b_n \end{aligned} \tag{۸}$$

عامل پرش ضروری است چرا که طولها یکسان نیست ولی پرش با برد زیاد نیز باعث تطابق تصادفی می‌شود. برای جلوگیری از این امر یک ضریب بنام هزینه پرش C تعریف شده‌است. تطابق بهینه با جستجو و یافتن کوتاهترین مسیر بر روی ماتریس یا گراف بنام DAG بدست می‌آید. گره‌های این گراف زوجهای مرتبی با وزن w هستند و تعریف می‌شوند:



شکل(۴): آشکارسازی نقاط غالب با لحاظ تصحیح مکان آنها.

$$w((i,j)(k,l)) = \begin{cases} C.\sqrt{(k-i-1)^2 + (l-j-1)^2} + d(a_k, b_l) & if\ i < k \wedge j < l \\ \infty & otherwise \end{cases} \tag{۹}$$

$$d(a_i, b_j) = (a_i - b_j)^2 \qquad 1 \le i \le n,\ 1 \le j \le m \tag{۱۰}$$

مسیر بهینه تطابق عبارت از کمترین مقدار فاصله تجمعی گرههای گراف با وزن w در یک سطر خاص حاصل می‌شود. ماتریس تناظر $D(i,j)$ عبارت است از:

$$D(i,j) = \begin{cases} d(a_i, b_j) & if\ \ i = 1, 1 \le j \le n \\ min\begin{cases} D(i,j) \\ D(i-1,j) + w((i,j)(k,l)) \end{cases} \\ \infty & otherwise \end{cases} \tag{۱۱}$$

۶- مقایسه ویژگیها

با تقطیع سیگنال سرعت مماسی و شناسائی نقاط مرزی قطعات می‌توان تصویر آنها را بر روی دیگر سیگنالها مانند موقعیت، شتاب و فشار نیز بدست آورد. از آنجا که تعداد قطعات در امضاهای مختلف و حتی برای یک فرد نیز یکسان نیست، تعیین میزان شباهت یا فاصله دو سیگنال در چهار مرحله انجام می‌شود:

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

جدول (۱): ویژگیهای تعریف شده در هر قطعه . r: الگوی مرجع، t: الگوی آزمون.

ویژگی	تعریف	ویژگی	تعریف
اختلاف تعداد قطعات، K: تعداد قطعات منطبق	$\frac{\lvert K_t - K_r \rvert}{K}$	اختلاف زمان شروع قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(To_t^i - To_r^i)/K$
فاصله سیگنال Vx قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(vx)_t^i - D(vx)_r^i)/K$	اختلاف مدت زمان قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(\Delta T_t^i - \Delta T_r^i)/K$
فاصله سیگنال Vy قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(vy)_t^i - D(vy)_r^i)/K$	فاصله سیگنال x قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(x)_t^i - D(x)_r^i)/K$
اختلاف زمانی نقاط بیشینه سرعت متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(MV(t)_t^i - MV(t)_r^i)/K$	فاصله سیگنال y قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(y)_t^i - D(y)_r^i)/K$
اختلاف مکانی (x) نقاط بیشینه سرعت متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(MV(x)_t^i - MV(x)_r^i)/K$	اختلاف طول انحنا قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(L_t^i - L_r^i)/K$
اختلاف مکانی (y) نقاط بیشینه سرعت متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(MV(y)_t^i - MV(y)_r^i)/K$	اختلاف سیگنال انحنا قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(c)_t^i - D(c)_r^i)/K$
اختلاف سرعت (v) نقاط بیشینه سرعت متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(MV(v)_t^i - MV(v)_r^i)/K$	فاصله فشار قطعات متناظر	$\sum_{i=1}^{K}(D(p)_t^i - D(p)_r^i)/K$

۱- با توجه به ویژگی یک به یک بودن نگاشت در الگوریتم OSB ابتدا قطعات متناظر دو سیگنال تحت بررسی مشخص می‌شود.

۲- نقاط متناظر هر دو قطعه مشابه در سیگنالهای مرجع و آزمون تعیین می‌گردد.

۳- اگر دو سیگنال P,Q دارای K قطعه متناظر باشند و قطعه kام آنها به طول n و ابعاد M ، آنگاه با استفاده از ضریب پیرسون شباهت آنها محاسبه می‌گردد.

$$S_k(P,Q) = \frac{\left[\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{n}(p_{ij}-\mu_{p_j})(q_{ij}-\mu_{q_j})\right]^2}{\sum_{j=1}^{M}\left[\sum_{i=1}^{n}(p_{ij}-\mu_{p_j})^2.\sum_{i=1}^{n}(q_{ij}-\mu_{q_j})^2\right]} \qquad (۱۲)$$

$$D_k(P,Q) = 1 - S_k(P,Q) \qquad (۱۳)$$

۴- میانگین فاصله کلی دو سیگنال برابر است با:

$$D_{Total} = \sum_{k=1}^{K} D_k(P,Q)/K \qquad (۱۴)$$

جدول (۱) ویژگیهای تعریف شده را نشان می‌دهد. با استخراج ویژگیهای مذکور و به لحاظ رعایت دامنه‌های غیر همگون آنها مطابق رابطه ذیل دامنه هر ویژگی به مقیاس با انرژی واحد تبدیل می‌شود.

$$F_n = \frac{F - mean(F)}{std(F)} \qquad (۱۵)$$

۷- نتایج آزمایشها

به منظور ارزیابی سامانه پیشنهادی پایگاه دادگان به دو بخش آموزش و آزمایش تقسیم گردید. برای فرآیند مقایسه تعداد ۲۵٪ امضاهای حقیقی به عنوان الگوهای مرجع فرض گردید. برای آموزش سامانه دو شیوه اجرا شد. در روش اول، برای مرحله آموزش از ۴۰٪ دادگان باقیمانده و مابقی نیز برای مرحله آزمایش و در روش دوم از ۶۰٪ دادگان برای آموزش و بقیه برای مرحله آزمایش و ارزیابی الگوریتمهای دسته‌بند استفاده شده‌است.

برای دسته‌بندی الگوها سه روش خطی (LIC) ، پنجره پارزن (PWC) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) مدنظر قرار گرفت. در روش SVM از هسته RBF استفاده گردید و آزمایشات در شرایط سطح آستانه فردی و عمومی اجرا شد. اگر در رابطه (۱۵) مقادیر میانگین و انحراف معیار برای یک فرد خاص تعیین شود سطح آستانه را فردی و اگر روی تمام افراد اجرا شود سطح آستانه را عمومی گویند.

سطح آستانه عمومی (مشترک) دارای این مزیت است که بر پایه کلیه دادگان آموزش تمام افراد مقدار بهینه مرز تصمیم‌گیری بدست می‌آید و حساسیت کمتری در قبال تغییر حجم پایگاه دادگان دارد و امکان به روز رسانی پایگاه را مهیا می‌سازد. سطح آستانه فردی از دادگان آموزش یک فرد خاص تعیین می‌شود و برای تخمین بهینه آن احتیاج به دادگان زیادی خواهد داشت. در ضمن با ورود هر فرد جدید به پایگاه دادگان باید این سطح تعیین و ذخیره شود.

در آزمایشات دو گروه جاعل ماهر و تصادفی مورد نظر است. تعداد امضای جاعلین تصادفی در مرحله آموزش برابر ۱۰ انتخاب شد که بطور تصادفی از افراد شرکت کننده در آزمون انتخاب شده‌است.

در این پژوهش معیار EER برای ارزیابی منظور گردید. آزمایشها به ازای هر دسته‌بند ۱۰ مرتبه تکرار می‌شود و در هر تکرار دادگان آموزش بطور تصادفی تعیین شده و سپس مقدار متوسط EER ها به عنوان خطای نهایی سامانه معرفی می‌شود.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1 Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

جدولهای (۲) و (۳) خطای EER را برای جاعل تصادفی و ماهر با استفاده از الگوریتم OSB نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاکی از خطای کمتر دسته‌بند پنجره پارزن نسبت به روش خطی و ماشین بردار پشتیبان است. همچنین در جدولهای (۴) و (۵) نتایج حاصل از ترکیب دسته‌بندهای مفروض با استفاده از قانون ضرب مشاهده می‌شود. مطابق نتیجه، ترکیب دسته‌بندهای PWC و SVM خطا را به شکل محسوسی کاهش می‌دهد. جدول (۶) نتایج دیگر تحقیقات را با پایگاه دادگان مشابه در گروه جاعل ماهر و سطح آستانه عمومی بیان می‌کند.

جدول (۲): مقدار (%) EER به ازای ۴۰٪ دادگان در مرحله آموزش

دسته‌بند	جاعل تصادفی		جاعل ماهر	
	فردی	عمومی	فردی	عمومی
LIC	۲/۱۱	۲/۶۳	۳/۱۴	۴/۷۹
PWC	۱/۶۷	۱/۹۱	۲/۰۸	۲/۴۸
SVM	۱/۹۳	۲/۲۵	۲/۳۲	۲/۸۶

جدول (۳): مقدار (%) EER به ازای ۶۰٪ دادگان در مرحله آموزش

دسته‌بند	جاعل تصادفی		جاعل ماهر	
	فردی	عمومی	فردی	عمومی
LIC	۱/۹۳	۲/۲۹	۲/۶۱	۳/۸۷
PWC	۱/۳۷	۱/۷۵	۱/۶۴	۲/۱۲
SVM	۱/۸۲	۱/۹۶	۱/۸۹	۲/۴۳

جدول (۴): ترکیب دسته‌بندها به ازای ۴۰٪ دادگان در مرحله آموزش برای جاعل ماهر و سطح آستانه عمومی

دسته‌بند	LIC	PWC	SVM
LIC	۴/۷۹	۲/۰۴	۲/۳۲
PWC	-	۲/۴۸	۱/۸۵
SVM	-	-	۲/۸۶

جدول (۵): ترکیب دسته‌بندها به ازای ۶۰٪ دادگان در مرحله آموزش برای جاعل ماهر و سطح آستانه عمومی

دسته‌بند	LIC	PWC	SVM
LIC	۳/۸۷	۱/۸۴	۱/۹۸
PWC	-	۲/۱۲	۱/۶۶
SVM	-	-	۲/۴۳

جدول (۶): میزان (%) EER در تحقیقات مشابه با لحاظ جاعل ماهر.

نام محققین	سال	نوع پایگاه	EER (%)
SVC [24]	۲۰۰۴	SVC	۲/۸۴
Doroz [36]	۲۰۰۸	SVC	۲/۳۹
Ragot [37]	۲۰۰۸	SVC	۱/۹۴
Yanikoglu [25]	۲۰۰۹	SigSA	۲/۶
Sigcomp09 [26]	۲۰۰۹	NFI	۲/۸۵
Meshoul [38]	۲۰۱۰	SVC	۶/۶۴
Porwik [39]	۲۰۱۰	SVC	۱/۲۹

برای ارزیابی حساسیت سامانه تصدیق از نمودارهای عملکرد نیز استفاده می‌شود. چنانچه خطای نوع اول یا FAR بر حسب خطای نوع دوم یا FAR رسم شود به آن منحنی مشخصه عملکرد[16] (ROC) گویند و اگر ROC را در فضای غیرخطی مانند لگاریتم رسم کنند آنرا نمودار مصالحه خطا[17] (DET) گویند. در این مقاله ما منحنیهای ROC را رسم کرده‌ایم که می‌تواند بیانگرEER نیز باشد. در شکلهای (۵) و (۶) منحنی ROC در حالات مختلف مشاهده می‌شود.

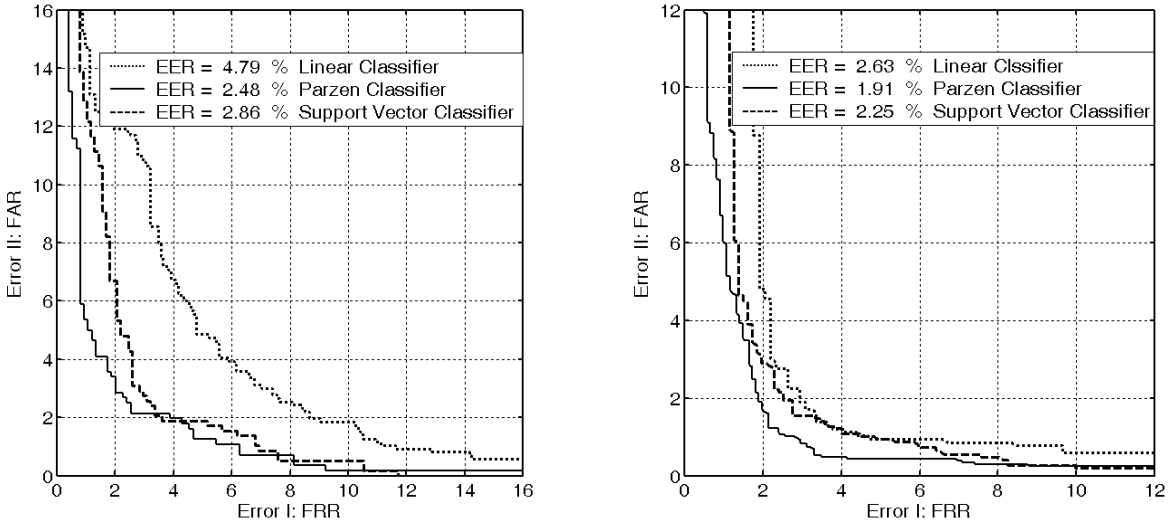
۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از ویژگی انحنا در منحنی‌های دو بعدی، الگوهای امضا به کمک نقاط غالب پایدار تقطیع گردید. با توجه به اعوجاجات رخ داده در حین ترسیم امضا توسط فرد تشخیص مرزهای تقطیع که از ثبات بالائی برخوردار باشند در تفکیک الگوهای جعلی و حقیقی بسیار حائز اهمیت است چرا که افراد جاعل در تعقیب دقیق چنین نقاطی دارای دقت کمتری در مقایسه با نقاط عادی هستند.

مسئله دیگر نگاشت یک به یک قطعات حاصل در الگوهای مرجع و آزمون است که توسط الگوریتم DTW ممکن نیست و روش جدیدی در فرآیند تصدیق امضا مورد استفاده قرار گرفت. همچنین استفاده از چهار پایگاه داده برای ارزیابی روش اتخاذ شده در این تحقیق اعتبار نتایج حاصل را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل در مقایسه با دیگر تحقیقات با دادگان مشابه بیانگر آن است که خطای دسته‌بندی الگوها بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته‌است.

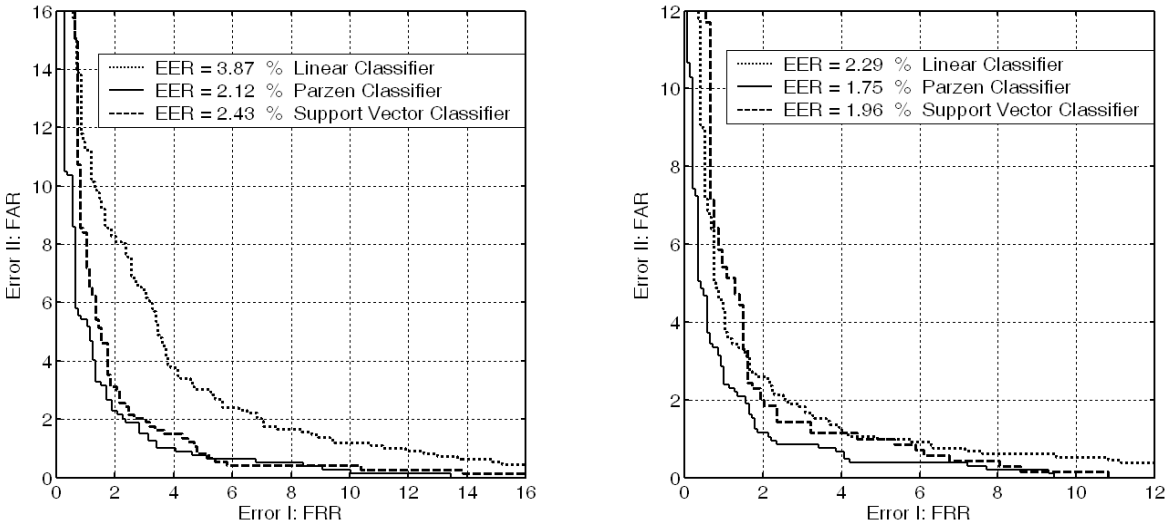
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]



(الف) (ب)

شکل (۵): نمودار ROC با لحاظ سطح آستانه عمومی و بهره‌گیری از ۴۰٪ دادگان برای آموزش. الف)- جاعل تصادفی. ب)- جاعل ماهر.



(الف) (ب)

شکل (۶): نمودار ROC با لحاظ سطح آستانه عمومی و بهره‌گیری از ۶۰٪ دادگان برای آموزش. الف)- جاعل تصادفی. ب)- جاعل ماهر.

مراجع

[1] Jain, A. K., Ross, A., Pankanti, S., "Biometrics: a tool for information security", IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol.1, No. 2, pp. 125-143, 2006.

[2] Plamondon, R., Lorette, G., "Automatic signature verification and writer identification: the state of the art", Pattern Recognition, Vol. 22, No. 2, pp. 107-131, 1989.

[3] Lee, L., Berger, T., Aviczer, E., "Reliable on-line human signature verification systems", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 6, pp. 643-647, 1996.

[4] Fierrez, F., Ramos-Castro, D., Ortega-Garcia, J., Gonzalez-Rodriguez, J., "HMM-based on-line signature verification: feature extraction and signature modeling", Pattern Recognition Letters, Vol. 28, No. 16, pp. 2325-2334, 2007.

[5] Lei, H., Govindaraju, V., "A comparative study on the consistency of features in on-line signature verification", Pattern Recognition Letters, Vol. 26, No. 15, pp. 2483-2489, 2005.

[6] Qu, T., Saddik, A. E., Adler, A., "A stroke based algorithm for dynamic signature verification", In Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 1, pp. 461- 464, 2004.

[7] Parizeau, M., Plamondon, R., "A comparative analysis of regional correlation, dynamic time warping and skeletal tree matching for signatures", IEEE Trans. Pattern Analysis and Ma chine Intelligence, Vol. 12, No. 7, pp. 710-717, 1990.

[8] Jain, A. K., Griess, F. D., Connell, S. D., "On-line signature verification", Pattern Recognition, Vol. 35, No. 12, pp. 2963-2972, 2002.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

[9] Writz, B., "Stroke based time warping for signature verification", Proc. 3rd Int. Conf. Document Analysis and Recognition, Vol. 1, pp. 179-182, 1995.
[10] Feng, H., Wah, C. C., "On-line signature verification using a new extreme point warping technique", Pattern Recognition Letters, Vol. 24, pp. 2943-2951, 2003.
[11] Fang, P., Wu, Z. C., Shen, F., Ge, Y. J., Fang, B., "Improved DTW algorithm for signature verification ased on writing forces", Proc. Int. Conf. Intelligent Computing, Vol. 1, pp. 631-640, 2005.
[12] Kashi, R., Hu, J., Nelson, W. L., Turin, W., "A hidden markov model approach to on-line handwritten signature verification", Int. J. Document Analysis and Recognition, Vol. 1 pp. 102-109, 1998.
[13] Muramatsu, D. Takashi, M., "An HMM on-line signature verification algorithm", Proc. Int. Conf. Audio and Video Based Person Authentication, pp. 233-241, 2003.
[14] Alister, K., Yanokoglu, B., "Identity authentication using improved on-line signature verification method", Pattern Recognition Letters, Vol. 26, No. 18, pp. 2400-2408, 2005.
[15] Draouhard, J. P., Sabourin, R., Godout, M., "A neural network approaches to on-line signature verification using directional PDF", Pattern Recognition, Vol. 29, pp. 415-424, 1996.
[16] Baja, R., Chaudhary, S., "Signature verification using multiple neural classifiers", Pattern Recognition, Vol. 30, pp. 1-8, 1997.
[17] Justino, E. J. R., Bortolazzi, F., Sabourin, R., "A comparison of SVM and HMM classifiers in the off-line signature verification", Pattern Recognition Letters, Vol. 26, No. 9, pp. 1377-1385, 2005.
[18] Wu, Q. Z., Lee, S. Y., Jou, L. C., "On-line signature verification based on logarithmic spectrum", Pattern Recognition, Vol. 31, No.12, pp. 1865-1871, 1998.
[19] Wu, Q. Z., Lee, S. Y., Jou, L. C., "On-line signature verification using LPC cepstrum and neural networks", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 27, No.1, pp. 148-153, 1997.
[20] Marcos, F. Z., "On-line signature verification based on VQ-DTW", Pattern Recognition, Vol. 40, No.3, pp. 981-992, 2007.
[□□] رشیدی، سعید؛ فلاح، علی؛ توحیدخواه، فرزاد؛ "تصدیق امضا از دیدگاه فرضیه کنترل حرکات ماهرانه"، مجله مهندسی پزشکی زیستی، جلد ۱، شماره ۴، ص. ۲۶۹-۲۸۰، ۱۳۸۶.
[□□] رشیدی، سعید؛ فلاح، علی؛ توحیدخواه، فرزاد؛ "احراز اصالت هویت فرد با استفاده از مدلسازی منحنی سرعت الگوی امضا"، ششمین کنفرانس بین‌المللی انجمن رمز ایران، دانشگاه اصفهان، مهر ۱۳۸۸.
[23] Guru, D. S., Prakash, H. N., "Online signature verification and recognition: An approach based on symbolic representation", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 31, No. 6, pp. 1059-1073, 2009.
[24] SVC, The First International Signature Verification Competition; http://www.cs.ust.hk/svc2004
[25] Kholmatov, K., Yanikoglu, B., "Susig: an on-line signature database, associated protocols and benchmark results", Pattern Analysis&Applications, pp. 20-26, 2008.
[26] http://sigcomp09.arsforensica.org
[□□] رشیدی، سعید؛ فلاح، علی؛ توحیدخواه، فرزاد؛ " تصدیق امضا بر پایه ضربه‌های نوشتاری سیستم کنترل حرکتی" ، هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۸.
[28] Duda, R. O., Hart, P. E., Stork, D. G., Pattern Recognition, 2nd Edition, John Wiley, 2000.
[29] Zhang, K., Pratikakis, I., Cornelis, J., Nyssen, E., "Using landmarks to establish a point-to-point correspondence between signatures", Pattern Anal. Appl., Vol. 3, No. 1, pp. 69-75, 2000.
[30] Yue, K. W., Wijesoma, W. S., "Improved segmentation and segment association for on-line signature verification", Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man Cybernetics, Vol. 4, pp. 2752-2756, 2000.
[31] Lee, J., Yoon, H., Soh, J., Chun, T., Chung, Y. T., "Using geometric extrema for segment-to-segment characteristics comparison in online signature verification", Pattern Recognition, Vol. 37, pp. 93-103, 2004.
[32] S. C. Pei, C. N. Lin, "The detection of dominant points on digital curves by scale-space filtering", Pattern Recognition, Vol. 25, No. 4, pp. 1307-1314, 1992.
[33] Sakoe, H., Chiba, S., "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition", IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Proc., Vol. 26, No. 1, pp. 43-49, 1978.
[34] Latecki, L. J., Wang, Q., Koknar-Tezel, S., Megalooikonomou, V., "Optimal Subsequence Bijection", IEEE Int. Conf. on Data Mining, Omaha, USA, 2007.
[35] Ibrahim, I., Alimgeer, K. S., Khan, M. A., Taj, I. A., "Creation and selection of most stable discriminating features for on-line signature verification", In IEEE. Int. Conference on Machine Vision, Vol. 3, pp. 97-101, 2007.
[36] Doroz, R., Porwik, P., Para T., Wrobel, K., "Dynamic Signature Recognition Based on Velocity Change of Some Features", Int. J. Biometrics, Vol. 1, No. 1, pp. 47-62, 2008.
[37] Ragot, N., Fortune, J, Vincent, N., Cardot, H., "Study of temporal variability in on-line signature verification", The 11th Int. Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, Montreal Canada, 2008.
[38] Meshoul, S., Batouche, M., "A novel approach for online signature verification using fisher based probabilistic neural network", Proc. of the 15th IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 22-25, 2010.
[39] Porwik, P., Doroz, R., Wrobel, K., "A new signature similarity measure based on windows allocation technique", Int. J. of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. Vol. 2, pp. 297-305, 2010.

زیرنویس‌ها

[1] Region Correlation
[2] Dynamic Time Warping
[3] Hidden Markov Model
[4] Support Vector Machine
[5] Spectrum
[6] Vector Quantization
[7] Sabanci
[8] Simple Forgery
[9] Random Forgery
[10] Skilled Forgery
[11] False Acceptance Rate
[12] False Rejection Rate
[13] Equal Error Rate
[14] Zhang

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

[15] Optimal Subsequence Bijection
[16] Receiver Operating Characteristic
[17] Detection Error Tradeoff

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]